

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Juni 2002 (13.06.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/45589 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **A61B 17/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP01/14373**

(22) Internationales Anmeldedatum:  
7. Dezember 2001 (07.12.2001)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:  
100 61 278.4 8. Dezember 2000 (08.12.2000) **DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **GFD GESELLSCHAFT FÜR DIAMANTPRO-  
DUKTE MBH [DE/DE]; Wilhelm-Runge-Strasse 11,**

89081 Ulm (DE). **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT  
ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54,  
80636 München (DE).**

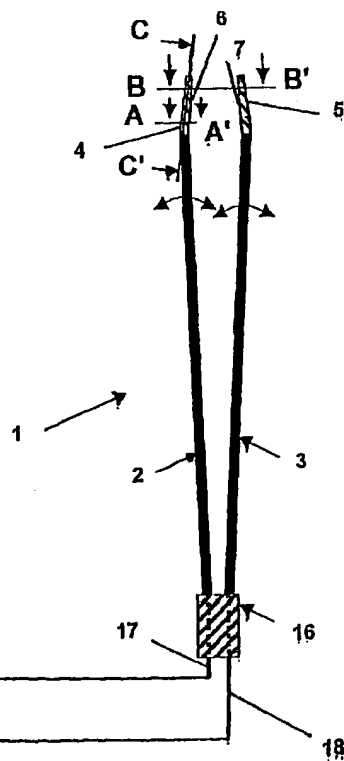
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LINGENFELDER,  
Christian [DE/DE]; Holzgasse 9, 89081 Ulm (DE).  
ERTL, Stephan [DE/DE]; Ochsensteige 72/4, 89075 Ulm  
(DE). STROBEL, Stefan [DE/DE]; Kiefemweg 9, 89129  
Langenau (DE). RÖSCH, Rudolf [DE/DE]; Joh.-Wid-  
mann-Str. 10, 89335 Ichenhausen (DE). FÖRSTER,  
Siegfried [DE/DE]; Jahnstrasse 29, 89231 Neu-Ulm  
(DE). FRYDA, Matthias [DE/DE]; Eichendorffstrasse  
14, 38110 Braunschweig (DE). SCHÄFER, Lothar  
[DE/DE]; Moorweg 1, 38527 Meine (DE). TRÖSTER,  
Inga [DE/DE]; Hedwigstrasse 5, 38118 Braunschweig**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **INSTRUMENT FOR SURGICAL APPLICATIONS AND METHOD FOR CLEANING THE SAME**

(54) Bezeichnung: **INSTRUMENT FÜR CHIRURGISCHE ZWECKE SOWIE VERFAHREN ZU DESSEN REINIGUNG**



(57) Abstract: The invention relates to an instrument for surgical applications, especially for coagulating. The instrument comprises at least one limb (2), whereby the tips (4) of the limbs comprise electrical contact areas (6, 7), which can be electrically connected to a control device (12) and which are provided for touching a tissue (13) for the purpose of coagulating the same. The contact areas are comprised of diamond that is doped in order to produce the electrical conductivity.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Instrument für chirurgische Zwecke, insbesondere zur Koagulation, vorgeschlagen. Dieses weist zumindest einen Schenkel (2) auf, wobei die Spitzen (4) der Schenkel mit einem Steuergerät (12) elektrisch verbindbare elektrische Kontaktbereiche (6, 7) zum Berühren eines Gewebes (13) zum Zwecke der Koagulation desselben aufweisen. Die Kontaktbereiche sind aus zur Herstellung der elektrischen Leitfähigkeit dotiertem Diamant.

WO 02/45589 A2



(DE). **HERRMANN, Dennie** [DE/DE]; Friedrichsthaler Strasse 42, 38116 Braunschweig (DE).

(74) **Anwalt: PFENNING MEINIG & PARTNER GBR**; Joachimstaler Strasse 10-12, 10719 Berlin (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Instrument für chirurgische Zwecke sowie Verfahren  
zu dessen Reinigung

5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Instrument für chirurgische Zwecke, insbesondere zur Koagulation, nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 sowie ein Verfahren zu dessen Reinigung.

10 In der Chirurgie bzw. in der Mikrochirurgie hat die Koagulation ein sehr weites Indikationsgebiet. Herkömmlicherweise wird die Koagulation zum Stoppen von Blutungen an offenen Wunden mit Hilfe einer Zange, einer Pinzette, einem Draht oder einer Klinge bewirkt. Beispielsweise wird das blutende Gefäß mit der  
15 Zange oder der Pinzette zusammengedrückt und dann ein Hochfrequenzstrom durch die Spitze geführt (bipolare Anwendung).

Der Hochfrequenzstrom kann auch z.B. über eine Klinge in das umgebende Gewebe eingeleitet werden. Als Gegenelektrode fungiert in diesem Falle eine großflächige Elektrode; der Stromfluß erfolgt durch den Körper, die Koagulation erfolgt im Klingenbereich, d.h. dem Bereich höchster Stromdichte (monopolare Anwendung).

In beiden Fällen verursacht der elektrische Widerstand des Gewebes eine Umsetzung der elektrischen Energie in thermische Energie und damit die Aufheizung und Koagulation des Gewebes, d.h. die Gerinnung der Zellsubstanz.

Es sind z.B. Pinzetten oder Zangen für chirurgische Zwecke bekannt, welche zur mono- und bipolaren Koagulation geeignet sind und zwei zueinander bewegbare Schenkel aufweisen, die elektrisch gegeneinander isoliert sind. Diese Schenkel weisen an ihren Spitzen elektrische Kontaktflächen aus Metall auf. Diese elektrischen Kontakte sind mit einem Steuergerät verbunden. Bei Berührung/Erfassen eines Stücks Gewebe zwischen den einander zugewandten Innenseiten und Aktivierung eines Stromflusses durch die Kontakte bzw. das Gewebe hindurch, kommt es zur Koagulation des erfaßten Gewebes.

Diese chirurgischen Instrumente nach dem Stand der Technik weisen mehrere Nachteile auf.

Oftmals kommt es bei der Verwendung von Metallen zu einem ungewünschten Anhaften des Gewebes an der Metalloberfläche, welches im schlimmsten Falle das Wiederaufreißen der koagulierten Stelle bewirken kann.

Außerdem ist die Verwendung herkömmlicher chirurgi-

5       scher Instrumente mit Kontaktflächen aus Metall kostenaufwendig, da entweder bereits nach einer Operation die Instrumente verworfen werden oder aufwendig mechanisch und chemisch gereinigt werden müssen, wobei hierbei immer noch die Gefahr besteht, daß z.B. Gewebe- oder Blutreste zurückbleiben.

10       Hierbei geht von den verschmutzten Elektroden eine besonders hohe Gefahr aus. Angetrocknete Blut- oder Gewebereste genügen hierbei zur elektrischen Isolation der Metallkontaktflächen, es kann zunächst zur Stromunterbrechung und dann zu einer Funkenbildung bzw. Verkohlung der Kontaktfläche und Verbrennungen von Gewebe auf der Kontaktfläche kommen. Außerdem  
15       entstehen Zusatzgefahren bei Anhaftung infektiösen Gewebes.

20       Außerdem kann die begrenzte Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Metalles dazu führen, daß es zu einer ungleichmäßigen Erwärmung des Metalles während des Koagulationsvorganges kommt und sich örtliche Temperaturspitzen ("Hot Spots") ausbilden. Es ist zu vermuten, daß an diesen "Hot Spots" schon bei normalem Gebrauch verbranntes Gewebe entsteht und haften bleibt.  
25       Dies bedeutet eine gefährliche Qualitätseinbuße bei Pinzetten nach dem Stand der Technik.

30       Auch die Wärmekapazität von Metallen kann sich nachteilig auswirken, da durch die im Metall gespeicherte Restwärme der Koagulationsvorgang unter Umständen länger als vom Operateur gewünscht fortgeführt wird, so daß es zu einer ungewünschten "Trägheit" des Gerätes kommt, welche Verbrennungen bzw. Anhaftungen verursachen kann, was insbesondere in der Mikrochirurgie  
35       sehr nachteilhaft ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Instrument zu schaffen, welches die oben bezeichneten Nachteile herkömmlicher Instrumente, insbesondere in Bezug auf die Entstehung und Be-

5 seitigung von Anhaftungen überwindet.

Diese Aufgabe wird bezüglich des Instruments durch Anspruch 1, bezüglich des Verfahrens durch Anspruch

10 29 gelöst.

Dadurch, daß die Kontaktbereiche aus einem zur Herstellung der elektrischen Leitfähigkeit dotierten Diamant bestehen, werden die Nachteile herkömmlicher Kontakte in Bezug auf Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, fehlende Inerteigenschaften bzw. ungewünschtes

15 Anhaften sowie Verschmutzungen auf den Kontaktbereichen und schlechte Reinigbarkeit und einem daraus resultierendem ungleichmäßigen Stromfluß vermieden. Die Koagulation kann hierbei entweder durch direkten Kontakt des Gewebes mit der Diamantelektrode und dem dabei bestehenden Stromfluß durch das Gewebe hindurch oder durch kapazitive Energieübertragung, wie bei einer elektrisch beaufschlagten isolierten Elektrode, geschehen. In jedem Falle wird vor allem die Reinig-

20 barkeit der Kontaktbereiche bzw. des Instruments stark verbessert und die Gefahr des Anhaftens von Gewebe verringert.

Diamant hat den Vorteil, daß er chemisch vollkommen inert und damit biokompatibel ist. Aufgrund des physikalischen Aufbaus kann es zu keiner Diffusion von Dotierstoffen aus dem Diamant heraus kommen. Somit ist der Einsatz in der Chirurgie bedenkenlos. Neben den Inerteigenschaften von Diamant an der Oberfläche

30 des Kontaktbereiches ermöglicht die Terminierbarkeit (d.h. gezieltes Aufbringen chemisorbierter Moleküle

35

oder Atome - wie beispielsweise Sauerstoff, Fluor (hydrophil) oder Wasserstoff (hydrophob) - auf die Oberfläche) der Diamant-Oberfläche die gezielte Einstellung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Oberfläche wie beispielsweise deren Hydrophobizität/Hydrophilität. Durch geeignete Terminierung der Oberfläche kann die Anhaftung von Gewebe weiter reduziert oder vermieden werden.

Auch die Wärmeleitfähigkeitseigenschaften werden drastisch verbessert. Dies liegt daran, daß Diamant als Isolator und dotiert als Leiter eine außerordentlich hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, welche sogar noch deutlich höher ist als die von Metallen wie Kupfer oder Silber. Hierdurch kommt es schnell zu einer gleichmäßigen Wärmeverteilung innerhalb des Kontaktbereiches, es treten keine hohen Temperaturgradienten auf, welche eine Hot-Spot-Bildung verursachen könnten.

Auch die Wärmekapazität des diamantenen Kontaktbereiches kann sehr gering gehalten werden. Diamant weist zunächst einmal eine geringe spezifische Wärmekapazität auf, welche praktisch unabhängig von der Dotierung ist. Außerdem kann Diamant in dünnen Schichten und trotzdem stabil abgeschieden werden, so daß sich eine sehr geringe thermisch aktive Masse ergibt.

Die besondere Eignung von Kontaktbereichen aus hochdotiertem Diamant ergibt sich außerdem daraus, daß der elektrische Widerstand dieses Materials weitgehend temperaturunabhängig ist. Zwar zeigen andere Halbleiterstoffe mit einem großen Bandabstand auch weitgehende Temperaturunabhängigkeit im Temperaturbereich der Anwendung (z.B. SiC), aber nur Diamant ist gleichzeitig auch chemisch inert.

Ein weiterer großer Vorteil der erfindungsgemäßen  
diamantenen Kontaktbereiche ergibt sich daraus, daß  
eventuell doch entstandene Anhaftungen am Diamant re-  
lativ einfach entfernt werden können. Hierbei zeigt  
5 Diamant eine gute Widerstandsfähigkeit gegen mechani-  
sche und aggressive chemische Reinigung. Außerdem ist  
es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, die  
Kontakte elektrolytisch zu reinigen, ohne daß es zu  
10 einer Schädigung des Elektrodenmaterials kommt. Somit  
ist das erfindungsgemäße Instrument oft wiederver-  
wendbar und dadurch wirtschaftlich und umweltfreund-  
lich. Wegen der möglichen Wiederverwendbarkeit kann  
das Instrument auch an anderen Stellen hochwertige  
15 Ausführungsformen annehmen, welche für den Operateur  
eine Verbesserung darstellen, ohne daß es zu wirt-  
schaftlichen Nachteilen kommt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfin-  
20 dung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Ein besonders großer Vorteil ergibt sich daraus, daß  
der Kontaktbereich aus dotiertem Diamant einen hohen  
Bandabstand zwischen 5,2 eV und 5,6 eV, vorzugsweise  
25 zwischen 5,3 eV und 5,5 eV, besonders vorzugsweise  
von 5,45 eV (eV = Elektronenvolt) besitzt. Dies ist  
für die spätere elektrochemische Reinigung des In-  
strumentes von größter Bedeutung. Dies liegt daran,  
daß es zur Reinigung eines verschmutzten Kontaktbe-  
reiches möglich ist, an diesen eine Spannung anzule-  
30 gen, ohne daß es zu einer Zersetzung des Kontaktbe-  
reiches kommt. Bei diesen hohen Spannungen werden an-  
dererseits selbst bei destilliertem Wasser OH<sup>-</sup>-Ionen  
und Ozon in großer Menge gebildet. Hierdurch wird das  
35 Medium so aggressiv, daß selbst organische Bestand-  
teile wie zum Beispiel

Prionen rückstandsfrei vom Kontaktbereich gelöst und vernichtet werden.

5 Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, daß die Kontaktbereiche einen elektrisch leitenden Kern aufweisen. Dieser Kern, welcher vorzugsweise aus einem (Hart-)Metall oder aus den in der Medizin oft verwendeten Materialien wie Niob, Iridium, Tantal, Wolfram oder Titan besteht, ist einerseits mechanisch stark beanspruchbar und stellt andererseits einen guten elektrischen Leiter dar, welcher die Verbindung zu dem Kontaktbereich herstellt. Der Kern kann auch aus Graphit, Zr oder kohlefaserverstärktem Kohlenstoff bestehen. Die Abscheidung von Diamant aus einem Plasma führt zu einer chemischen Bindung zwischen dem Kernmaterial und der Diamantschicht. Dadurch entsteht eine sehr feste Verbindung von Kernmaterial und Kontaktbereich. Hierbei werden bevorzugt CVD (Chemical Vapor Deposition)-Verfahren angewandt, die zur Beschichtung dreidimensionaler Werkstoffe besonders geeignet sind. Hervorzuheben ist hier die Hot-Filament-CVD. Diese ist sehr flexibel bezüglich der Form der zu beschichtenden Bauteile (und ist damit selbst für die Beschichtung von Bohrern verwendbar). Neben Hot-Filament-CVD sind noch Mikrowellen-Plasma-CVD und ECR (Electron-Cyclotron-Resonance) unterstützte Mikrowellen-CVD möglich. Gemeinsame Vorteile dieser Verfahren sind die gute, homogene Beschichtung von dreidimensionalen Bauteilen und die hohe Flexibilität bezüglich der beschichtbaren Formen.

Es sind jedoch auch andere Ausführungsformen von Instrumenten vorteilhaft, welche keinen elektrisch leitenden Kern vorsehen. So ist es z.B. möglich, die Schenkel des erfindungsgemäßen Instruments im Kern aus einem nicht elektrisch leitfähigem Material her-

zustellen und diesen Kern auf voller Länge, d.h. von der Koagulationsspitze bis zum Anschlußkontakt für die Spannungsversorgung mit einer elektrisch leitfähigen Schicht, z.B. der erfindungsgemäßen dotierten Diamantschicht, zu beschichten. Auf diese Beschichtung kann dann bei Bedarf bereichsweise ein Isoliermaterial aufgebracht werden.

Darüber hinaus sind noch weitere erfindungsgemäße Ausführungsformen möglich, etwa ein elektrisch leitender bzw. nichtleitender Diamantkern. Ferner ist der Auftrag von Zwischenschichten zwischen einem beliebigen Kern sowie der erfindungsgemäßen dotierten Diamantschicht möglich. Eine Ausführungsform sieht vor, daß auf der leitfähig dotierten Diamantschicht des Kontaktbereiches zumindest bereichsweise weitere leitfähige Schichten aufgebracht sind. In diesem Fall dient der Diamant zur Vermeidung von Hot Spots durch verbesserte Wärmeverteilung im Kontaktbereich.

Als vorteilhafte Ausgestaltung hat sich herausgestellt, daß die Dotierstoffkonzentration im Kontaktbereich mehr als  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  beträgt. Hierbei sind als besonders vorteilhafte Dotierstoffe Bor, Schwefel, Lithium oder Titan zu nennen, möglich sind z.B. auch Stickstoff, Phosphor oder  $\text{sp}^2$ -gebundener Kohlenstoff in der Diamantschicht. Die eingangs geschilderten erfindungsgemäßen Vorteile ergeben sich hierbei in besonderer Weise dadurch, daß der spezifische Widerstand des dotierten Diamanten der Kontaktbereiche kleiner als  $100 \text{ Ohm cm}$  ist, bevorzugt kleiner als  $1 \text{ Ohm cm}$ , besonders bevorzugt kleiner als  $0,01 \text{ Ohm cm}$ , während die mittlere Schichtdicke des Kontaktbereiches bis zu  $300 \text{ Mikrometer}$ , bevorzugt weniger als  $10 \text{ Mikrometer}$ , besonders bevorzugt  $1 \text{ bis } 5 \text{ Mikrometer}$  beträgt. Mit diesen Parametern wird gewährleistet,

daß der Serienwiderstand der Beschichtung klein ist,  
so daß sich eine vernachlässigbare Eigenerwärmung er-  
gibt, die Eigenwärme wird außerdem durch die hohe  
Wärmeleitfähigkeit und geringe Wärmekapazität schnell  
5 an die Umgebung abgegeben.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung ergibt sich  
daraus, daß das chirurgische Instrument mit Steuerge-  
räten nach dem Stand der Technik betreibbar ist (d.h.  
10 es ist keine teure Neuanschaffung eines Steuergeräts  
nötig). Das Instrument ist aber auch mit einem erfin-  
dungsgemäßen speziellen Steuergerät elektrisch ver-  
bindbar, welches nur eine sehr kleine Abwandlung von  
solchen nach dem Stand der Technik darstellt (dieses  
15 ist ergänzt um eine "Reinigungsoption", d.h. daß eine  
Spannungsquelle vorgesehen ist, welche bei der an-  
schließenden elektrochemischen Reinigung zur Span-  
nungsversorgung dient). Beide Steuergeräte weisen je-  
denfalls einen Hochfrequenz-Generator zur Erzeugung  
20 unmodulierter und modulierter Hochfrequenzströme  
durch die Kontaktbereiche hindurch auf.

Besonders vorteilhaft ist jedoch, daß das erfindungs-  
gemäße Steuergerät ein mit Flüssigkeit füllbares  
25 Tauchbecken zum Eintauchen der Kontaktbereich in die-  
se Flüssigkeit und eine Spannungsquelle zum Anlegen  
einer Gleich- oder Wechselspannung an die in die  
Flüssigkeit eingetauchten Kontaktbereiche aufweist  
bzw. mit dem Tauchbecken/der Spannungsquelle verbind-  
30 bar ist. Hierdurch kann, gegebenenfalls sogar ohne  
mechanische Grobvorreinigung, der diamantene Kontakt-  
bereich von Anhaftungen elektrochemisch gereinigt  
werden. Dies kann, je nach Wahl der weiteren Verfah-  
rensparameter, so gründlich erfolgen, daß unter Um-  
35 ständen eine nachfolgende zusätzliche z.B. Dampfsteri-  
lisation entfallen kann (dies ist in Deutschland

derzeit allerdings noch gesetzlich vorgeschrieben).

5 Es ist hierbei besonders vorteilhaft, wenn die von der Spannungsquelle erzeugte Spannung eine Amplitude zwischen 0 und 1000 V, vorzugsweise 0 bis 10 V, be-  
sonders vorzugsweise 1 bis 5 V beträgt (der Span-  
nungsbereich bis zu 5,45 Volt zeigt den besonderen  
Vorteil, daß aus dem Wasser heraus aggressive  
10 Hydroxidionen und Ozon gebildet wird zum Abtrag von Verschmutzungen und der Desinfizierung der Kontaktbe-  
reiche, ohne daß es zu einer Zersetzung des Kontakt-  
bereiches kommt). Hierbei beträgt die Stromdichte an den Außenflächen der dotierten Diamantkontaktbereiche vorteilhafterweise bis zu 10 A pro cm<sup>2</sup>.

15 Die elektrochemische Reinigung, welche bei in einer destilliertes Wasser enthaltenden Flüssigkeit ge-  
tauchten Instrumentenschenkeln erfolgt (hierbei sind, wenn zwei Schenkel einer Pinzette eingetaucht sind,  
20 die Kontaktbereiche der beiden Schenkel im festen Abstand zueinander angeordnet) wird dadurch verbessert, daß zusätzlich die Flüssigkeit mit Zusätzen, wie etwa Lösungsmitteln, Reinigungsmitteln, Desinfektionsmit-  
teln, Säuren (z.B. Schwefelsäure) und anderen, auch  
25 festen/löslichen Zusätzen bzw. Zusätzen, die die elektrische Leitfähigkeit verursachen, versetzt wird. Zu-  
sätzlich kann die Flüssigkeit auch erwärmt bzw. mit Ultraschall beaufschlagt werden, um die Reinigungs-  
wirkung zu beschleunigen bzw. zu verbessern.

30 Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Instruments sieht vor, daß die Kontaktbereiche z.B. auf den jeweiligen Schenkeln einer Pinzette eine gleichge-  
richtete oder eine entgegengesetzte Polung aufweisen  
35 und in entsprechender Weise so an das Steuergerät angeschlossen bzw. angesprochen werden. Somit ist es

möglich, sowohl im Operationsbetrieb als auch bei der anschließenden elektrochemischen Reinigung wahlweise monopolar oder bipolar vorzugehen, hierbei kann die Polung desselben Instruments im Koagulations- und Reinigungsbetrieb unterschiedlich sein.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung werden in den übrigen abhängigen Ansprüchen gezeigt.

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand mehrerer Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Pinzette, welche an ein Steuergerät angeschlossen ist,

Fig. 2a

bis 2c Schnitte durch die Schenkelspitzen einer erfindungsgemäßen Pinzette,

Fig. 3a

bis 3e Schnitte durch die Schenkelspitzen einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Pinzette,

Fig. 4a

bis 4c Schnitte durch die Schenkelspitzen nach einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Pinzette,

Fig. 4d

bis 4g Schnitte durch die Schenkelspitzen weiteren Ausführungsformen erfindungsgemäßer chirurgischer Instrumente,

Fig. 5a

und 5b die prinzipielle Verschaltung einer erfindungsgemäßen Pinzette im bi- und monopolaren Betrieb,

5

Fig. 6a

und 6b Darstellungen des Stromflusses im mono- und bipolaren Betrieb,

10

Fig. 7a

und 7b die Reinigung einer erfindungsgemäßen Pinzette im bi- und monopolaren Betrieb, und

15

Fig. 8 Elektrolyse-Strom-Spannungskurve für eine erfindungsgemäße Pinzette.

20

Fig. 1 zeigt eine Pinzette 1 für chirurgische Zwecke, insbesondere zur Koagulation als ein Beispiel für ein chirurgisches Instrument. Diese weist zwei zueinander bewegbare elektrisch gegeneinander isolierte Schenkel 2 und 3 auf. Der Schenkel 2 weist an seiner Spitze 4 (bereichsweise) einen elektrischen Kontaktbereich 6 auf, welcher aus elektrisch leitfähigen dotierten Diamant besteht. Der gegenüberliegende Schenkel 3 weist entsprechend an der Spitze 5 einen Kontaktbereich 7 aus dem zur Herstellung der elektrischen Leitfähigkeit dotierten Diamant auf.

25

30

35

Der elektrische Kontaktbereich 6 ist durch den Schenkel 2 hindurch über eine elektrische Verbindung 17 mit dem Steuergerät 12 verbunden. Entsprechend ist der Kontaktbereich 7 des Schenkels 3 über eine elektrische Verbindung 18 mit dem Steuergerät 12 verbunden. Der Träger 16 sowie die darin gehaltenen Schenkel 2 und 3 haben in dem von den Schenkelspitzen verschiedenen Bereich eine Umhüllung oder dergleichen

zur elektrischen Isolation des Schenkels 2 vom Schenkel 3.

5 Die Schenkel 2 und 3 sind zueinander bewegbar, so daß zwischen den Schenkelspitzen 4 und 5 ein nicht dargestelltes Stück Gewebe erfaßt und aufgrund eines im Steuergerät 12 erzeugten Stromflusses zum Zwecke der Koagulation elektrisch durchströmt werden kann. Auf genauere Einzelheiten der Koagulation wird später  
10 (insbesondere bei der Beschreibung der Fign. 5a, 5b, 6a, 6b) näher eingegangen.

Fig. 2a bis 2c zeigen Schnitte durch die Spitze 4 des Schenkels 2 (für die Schenkelspitze 5 ergeben  
15 sich identische, jedoch spiegelverkehrte Ansichten, Analoges gilt für die Zeichnungen 3a bis 3d sowie 4a bis 4c).

Fig. 2a zeigt einen Schnitt gemäß A-A' durch die  
20 Spitze 4 des Schenkels 2. Die Schenkelspitze 4 enthält einen elektrisch leitenden Kern 10.1. Dieser Kern 10.1 ist mit dem Steuergerät 12 über den Schenkel 2 bzw. die Zuleitung 17 elektrisch verbunden (Entsprechendes ergibt sich selbstverständlich auch  
25 für den Schenkel 3). Auf den Kern 10.1 ist das den Kontaktbereich 6.1 bildende dotierte Diamantmaterial aufgebracht. In der vorliegenden Ausführungsform ist das den Kontaktbereich bildende dotierte Diamantmaterial konzentrisch um den im Querschnitt runden Kern  
30 10.1 angeordnet. Der Kern ist bevorzugt aus einem refraktären Metall, bevorzugt Titan, Wolfram, Niob, Tantal oder Legierungen dieser Metalle. Es sind jedoch auch andere Substratmaterialien (Silizium, Siliziumcarbid, Graphit, Karbide refraktärer Metalle,  
35 Iridium oder andere Materialien mit geringer Gitterfehlanpassung, Halbleiter (z.B. Ge) oder damit be-

schichtete andere Kernmaterialien erfindungsgemäß möglich. Der Kontaktbereich 6.1 aus dotiertem Diamantmaterial ist mittels eines CVD-Verfahrens auf den Kern 10.1 aufgebracht. Hierfür eignen sich insbesondere CVD-Verfahren, welche einen gleichmäßigen Auftrag der den Kontaktbereich bildenden diamantenen Schicht auf dreidimensionalen Gebilde ermöglicht (siehe oben). Der Halt zwischen der den Kontaktbereich 6.1 bildenden Diamantschicht und dem Kern 10.1 ist besonders fest, dies ergibt sich daraus, daß zwischen Kern 10.1 und Kontaktbereich 6 eine chemische Bindung besteht. Die Dotierstoffkonzentration des Kontaktbereiches beträgt vorzugsweise mehr als  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , im vorliegenden Falle hat sich eine Dotierstoffkonzentration des Kontaktbereiches im Bereich von  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  besonders bewährt. Als bevorzugte Dotierstoffe des dotierten Diamantmaterials des Kontaktbereiches kommen hierbei Bor, Schwefel, Lithium oder Titan in Betracht, möglich sind z.B. auch Stickstoff, Phosphor oder  $\text{sp}^2$ -gebundener Kohlenstoff in der Diamantschicht. Der Auftrag bzw. die Dotierung der diamantenen leitenden Schicht erfolgte vorliegend so, daß keine Diffusion der Dotierstoffe aus dem Diamant geschieht. Die Diamantschicht kann zur Herstellung einer kleineren Oberflächenrauigkeit aus texturiertem oder nanokristallinen Diamant sein.

Es sind somit vielfältige Diamantbeschichtungen herstellbar. Zur leichten Unterscheidbarkeit/Kennzeichnung ist es möglich, die Interferenzfarben der Diamantbeschichtung zu nutzen.

Der spezifische Widerstand des den Kontaktbereich bildenden dotierten Diamantmaterials ist über die Dotierstoffkonzentration einstellbar. Als vorteilhaft haben sich erwiesen spezifische Widerstände kleiner

als 100 Ohm cm, bevorzugt kleiner als 1 Ohm cm, im vorliegenden Falle beträgt er 0,01 Ohm cm. Hierbei beträgt die Schichtdicke der auf den Kern 10.1 aufgetragenen diamantenen Schicht vorzugsweise weniger als 5 300 Mikrometer, bevorzugt weniger als 10 Mikrometer. Im vorliegenden Falle beträgt er besonders vorzugsweise zwischen 1 und 5 Mikrometer.

Die grundlegenden Eigenschaften des den Kontaktbereich bildenden Diamant bzw. des Kerns wurden soeben anhand von Fig. 2a erläutert. Es wird nachdrücklich betont, daß sämtliche Angaben bezüglich des Kernmaterials, der Auftragsweise der leitenden diamantenen Schicht auf den Kern, der Dotierstoffe des Diamantmaterials des Kontaktbereiches, der Dotierstoffkonzentration, der Schichtdicken und der spezifischen Widerstände auch direkt für die Ausführungsformen nach 10 Fig. 3a bis 3e bzw. 4a bis 4g gelten, sofern dort nichts anderes ausdrücklich gesagt ist.

20 Fig. 2b zeigt einen Längsschnitt gemäß C-C' aus Fig. 1. Hierin ist zu sehen, wie die den Kontaktbereich 6.1 bildende dotierte Diamantschicht "hutartig" auf den Kern 10.1 aufgebracht ist (es ist jedoch auch eine komplett umschließende Beschichtung möglich). Außerdem ist der Montagebereich der Spitze 4 des Schenkels zu sehen. Dieser Montagebereich befindet sich an der unteren Kante der Spitze, welche dann sprungartig in den Steg des übrigen Schenkels übergeht. Eine besondere Ausführungsform der Erfindung sieht zur 25 kostengünstigen Herstellung einer erfindungsgemäßen Pinzette vor, daß lediglich die Spitze 4 (d.h. der Pinzettenkopf) aus diamantbeschichtetem Material (zum Beispiel einem Material wie einem refraktionären Metall, bevorzugt Titan, Wolfram, Niob, Tantal oder 30 Legierungen dieser Metalle oder aus Silizium, Silizium-

karbid, Graphit, Karbiden refraktionärer Metalle, Iridium oder anderen Materialien mit geringer Gitterfehlانpassung, Halbleiter (z.B. Ge) oder damit beschichteten anderen Kernmaterialien) besteht. Der übrige Schenkel der Pinzette kann aus einem kostengünstigen Material wie zum Beispiel Edelstahl gefertigt sein. Der fertig beschichtete Pinzettenkopf, welcher an seiner Unterseite zum Beispiel eine Ausnehmung aufweist, wird anschließend auf den übrigen Schenkel aufgeklebt bzw. mit diesem verlötet. Neben den verminderten Herstellungskosten dieser Ausführungsform kann hierdurch erreicht werden, daß eine spezifische Koagulation nur an ganz definierten Stellen der Pinzette vorgenommen wird. So ist es z.B. auch möglich, den Schenkel (bis auf die Spitze 4) aus Kunststoff mit innenliegenden elektrischen Zuleitungen herzustellen (damit ist durch den Kunststoff einerseits eine elektrische Isolation gegeben und andererseits der Stromfluß nur durch die Spitze möglich). Es soll hervorgehoben werden, daß diese kostengünstige Herstellungsmethode nicht nur für die in Fign. 2a bis 2c gezeigte Ausführungsform gelten soll, sondern auch für sämtliche weiteren Ausführungsformen des hier beschriebenen chirurgischen Instrumentes.

Fig. 2c zeigt eine weitere Ausführungsform eines Schnittes gemäß A-A' aus Fig. 1, welche sich lediglich von der in Fig. 2a gezeigten Version dadurch unterscheidet, daß an der dem Schenkel 3 zugewandten Innenseite die Spitze 4 des Schenkels 2 abgeflacht ist. Ansonsten gilt hier das zu Fig. 2a Gesagte.

Fign. 3a bis 3e zeigen eine weitere Variante der Ausführung von Schenkelspitzen 4 bzw. 5 nach dem Grundprinzip der in Fig. 1 gezeigten Pinzette.

Fig. 3a zeigt einen Schnitt gemäß A-A' durch eine Schenkelspitze 4. Hierbei entsprechen Aufbau und Geometrie des Kerns 10.2 sowie der den Kontaktbereich 6.2 bildenden diamantenen leitenden Schicht im Wesentlichen der in Fig. 2a gezeigten Ausführungsform.

Zusätzlich ist jedoch die den Kontaktbereich 6.2 bildende diamantene leitfähige Schicht mit einer im Wesentlichen sichelartig geformten Isolierschicht 11.2 umgeben. Diese Isolierschicht 11.2 ist im Wesentlichen konzentrisch zu der den Kontaktbereich 6.2 bildenden leitfähigen Diamantschicht angeordnet, wobei sich jedoch zu der dem entgegengesetzten Schenkel 3 hingewandten Innenseite hin sich die Dicke der Isolierschicht 11.2 verringert. Diese Verringerung geht so weit, daß in dem von in Fig. 3a eingezeichneten Marken 19 eingegrenzten Winkelbereich der Kontaktbereich 6.2 vollkommen freiliegt, d.h. nicht von der Isolierschicht 11.2 bedeckt ist.

Das Material der Isolierschicht 11.2 ist nominell undotierter Diamant, d.h. elektrisch nicht leitfähiger Diamant. Die Isolierschicht 11.2 wurde in einem CVD-Verfahren auf die den Kontaktbereich 6.2 bildende leitende Diamantschicht aufgebracht. Hierzu eignet sich wiederum die oben bezeichneten CVD-Verfahren. Die Isolierschicht kann jedoch auch neben Ausführungsformen aus texturiertem Diamant oder nanokristallinem Diamant (dies ist wegen der geringen Rauheit der Oberfläche besonders günstig) auch aus DLC (Diamond like Carbon) bestehen. Diese elektrisch isolierende Schicht 11.2 kann hierbei wiederum verschieden terminiert werden, um das Anhaften von Gewebe noch besser zu verhindern (siehe hierzu die Ausführungen zur Terminierung in der Beschreibungseinleitung, welche entsprechend anwendbar sind).

Fig. 3b zeigt eine Variante des Schnittes A-A'. Hierbei ist der Aufbau des Kerns bzw. der leitenden Diamantschicht entsprechend der Variante aus Fig. 2c, zusätzlich wurde, abgesehen von dem Bereich der abgeflachten Innenseite, die leitende Diamantschicht mit einer Isolierschicht 11.2' versehen.

Fig. 3c und 3d zeigen zwei Varianten eines Längsschnittes gemäß C-C' durch in Fig. 3a bzw. 3b gezeigte Schenkelspitzen 4. Hierbei entspricht die Grundform jeweils der in Fig. 2b gezeigten Variante. Diese wird ergänzt durch die aufgebrachte Isolierschicht 11.2 bzw. 11.2'. In Fig. 3c ist die den Kontaktbereich 6.2 bzw. 6.2' bildende leitende Diamantschicht im Wesentlichen umlaufend mit der isolierenden Diamantschicht 11.2 bzw. 11.2' bedeckt, wobei lediglich auf der Innenseite der Schenkelspitze 4, etwa im Bereich der oberen Hälfte 20, die Isolierschicht ausgespart ist, so daß es hier zur elektrischen Kontaktierung kommen kann.

Diese Ausführungen gelten für die Ausführungsform nach Fig. 3d im Wesentlichen entsprechend, allerdings ist hier die Innenseite auf der gesamten Höhe der Schenkelspitze 4, d.h. im Bereich 21, von der Isolierschicht 11.2 bzw. 11.2' nicht bedeckt.

Schließlich zeigt Fig. 3e einen Schnitt B-B' durch zwei Schenkelspitzen 4 und 5, welche der Ausführungsform aus Fig. 3a entsprechen. Die Ausbildung der Spitze 5 ist im Wesentlichen spiegelsymmetrisch zum oben beschriebenen Aufbau der Schenkelspitze 4. Die elektrischen Kontaktbereiche aus dotiertem Diamantmaterial 6.2 bzw. 7.2, welche nicht von der Isolierschicht 11.2 bedeckt sind, stehen sich direkt gegen-

über und können durch Bewegen der Schenkel 2 bzw. 3 aufeinander zu bewegt werden, um in ihrem Zwischenraum ein Stück Gewebe zu erfassen und dieses elektrisch zu durchströmen.

5

Fig. 4a bis 4g zeigen eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schenkelspitze 4. Diese entspricht im Grundaufbau wiederum zunächst der in Fig. 2a bis 2c gezeigten Schenkelspitze. Allerdings ist hier die Isolierschicht 11.3 (bezüglich Material und Auftragsweise dieser Schicht wird ausdrücklich auf die Beschreibung der Fig. 3a bis 3e verwiesen) so gestaltet, daß die leitfähig dotierte Diamantschicht vollkommen durch die Isolierschicht 11.3 elektrisch isoliert wird. Diese Ausführungsform erlaubt eine kapazitive Leistungsübertragung auf das Gewebe bei elektrischer Beaufschlagung des isolierten Kontaktbereiches.

20

Fig. 4d bis 4g zeigen mehrere Ausführungsformen monopolarer Koagulationsinstrumente. Diese weisen unterschiedliche Schenkel 31d bis 31g auf, an die sich jeweils identisch ausgeführte Steckadapter 30 anschließen. Die Koagulation erfolgt jeweils durch Kontakt der Schenkelspitze mit dem zu koagulierenden Gewebe des Patienten, als Gegenelektrode dient z.B. ein Operationstisch, auf welchem sich der Patient befindet.

25

30

Der Schenkel 31d ist im wesentlichen stabförmig ausgeführt, an der Spitze des Stabes schließt sich eine im Wesentlichen runde Kugelelektrode 32d an.

35

Der Schenkel 31e ist im wesentlichen "schwertförmig" ausgeführt, d.h. in der Blattebene flach im Vergleich mit der hier dargestellten Draufsicht und an der

Spitze 32e spitz zulaufend.

Der Schenkel 31f ist im wesentlichen nadelförmig ausgeführt, d.h. langgestreckt mit vergleichsweise scharfer Spitze 32f.

Der Schenkel 31g ist im wesentlichen schlingenförmig ausgeführt, d.h. als im wesentlichen geschlossene Kurve bzw. Schlaufe mit einem Auge 32g.

Die in Fig. 4d, 4e, 4f, 4g gezeigten Instrumente weisen an den mit A-A' bezeichneten Schnittstellen Querschnitte auf, wie sie bereits in den Fig. 2a, 3a, 4a (bzw. für nichtrunde Querschnitte z.B. 2c, 3b, 4c) eingehend erläutert wurden, so daß auf eine nochmalige Schilderung verzichtet wird. Bezüglich Fig. 4d bis 4g ist zu bemerken, daß auch hier die Schenkel z.B. Schenkel 31e in Fig. 4e Schichten von dotierten bzw. undotierten Diamantmaterialien wie oben beschrieben aufweisen können. Allen Ausführungsformen gemeinsam ist, daß diese an den Schenkelspitzen Kontaktbereiche zur Koagulation durch Stromfluß aufweisen.

Der Steckadapter 30 ist in einen nicht dargestellten Instrumentenhalter steckbar zur Herstellung einer elektrischen Verbindung und mechanischen Fixierung. Dieser Instrumentenhalter entspricht in Aufbau und Funktion zunächst dem Träger 16 aus Fig. 1, d.h. daß er in entsprechender Weise die elektrische Verbindung von einem mit dem Steuergerät 12 verbundenem elektrischen Kontakt zu den Kontaktbereichen der Schenkel herstellt (wobei jedoch nur die monopolare Verschaltung nach Fig. 5b bzw. Fig. 6a zur Anwendung kommt). Zusätzlich weist der Instrumentenhalter jedoch einen Handgriff auf, welcher das Halten des Instrumenten-

halters in der Hand des Operators ermöglicht.

5 In den oben beschriebenen Beispielen wurde die Isolierschicht, z.B. die Isolierschicht 11.2 auf Bereiche der elektrisch leitfähigen Diamantschicht aufgebracht. Es ist jedoch selbstverständlich möglich, diese Isolierschicht gegebenenfalls auch auf Bereiche des Kerns, z.B. 10.2, direkt aufzubringen. Dann gelten die oben beschriebenen Figuren 3 und 4 analog.

10

In Fig. 5a, 5b, 6a, 6b wird die Koagulation von Gewebe mittels der erfindungsgemäßen Pinzette kurz erläutert.

15

Fig. 5a zeigt einen prinzipiellen Aufbau gemäß Fig. 1. In den Bereich zwischen den Innenseiten der Schenkelspitzen 4 und 5 ragt ein Stück menschliches Gewebe 13 hinein. Das Steuergerät 12 ist mit einem Hochfrequenz-Generator 14 zur Erzeugung unmodulierter und modulierter Hochfrequenzströme durch die an den Innenseiten der Schenkelspitzen 4 und 5 angeordneten elektrischen leitfähigen Kontaktbereiche hindurch ausgestattet. Die Schenkel 2 und 3 sind hierbei zueinander beweglich angeordnet, so daß ein von den Schenkelspitzen 4 und 5 zu erfassendes Gewebestück 13 an den Innenseiten der Schenkelspitzen 4 und 5 festgeklemmt werden kann.

20

25

30 Fig. 5a zeigt den Aufbau der erfindungsgemäßen Pinzette im bipolaren Betrieb (Schenkel 2 und 3 sind in ihrem Träger 16 elektrisch voneinander isoliert). Hierbei weist die Pinzette 2 Pole auf, welche einerseits vom Kontaktbereich 6 über den übrigen Schenkel 2 und die Leitung 17 und andererseits über den Kontaktbereich 7, den übrigen Schenkel 3 und die Leitung 35 18 zu dem Steuergerät 12 hinführen. Die Koagulation

von erfaßtem Gewebe 13 im bipolaren Betrieb ist anhand der Skizze in Fig. 6b abzulesen. Es ist zu sehen, daß der Strompfad bzw. Stromfluß ein geschlossener ist (siehe gestrichelte Linie). Von dem Hochfrequenzgenerator ausgehend, erfolgt der Stromfluß z.B. über den Schenkel 2 und den Kontaktbereich 6 durch das menschliche Gewebe 13 hindurch zu dem Kontaktbereich 7 des Schenkels 3 und wieder zurück zu dem Hochfrequenzgenerator. Es wird also lediglich das zu koagulierende Gebiet in einem sehr begrenzten Raum dem Stromfluß ausgesetzt. Eine noch exaktere Gewebehandlung ist bei Verwendung einer teilweise isolierten Pinzette z.B. nach Fign. 3b, c möglich. Dann kommt es lediglich zwischen den Innenflächen der Spitzen zu einem Stromfluß, umliegendes Gewebe wird nicht beschädigt.

Alternativ ist jedoch auch der monopolare Betrieb möglich (bei Fign. 4d bis 4g ausschließlich).

Fig. 5b zeigt hierzu die prinzipielle Verschaltung der erfindungsgemäßen Pinzette. Hierbei werden die elektrischen Leitungen 17' und 18', welche elektrisch mit den Kontaktbereichen 6 und 7 verbunden sind, zu einer einzigen Leitung elektrisch zusammengefaßt, welche dann in den Hochfrequenzgenerator 14 des Steuergerätes 12 mündet. Der Hochfrequenzgenerator 14 ist hierzu andererseits geerdet. Das zu koagulierende menschliche oder tierische Gewebe 13 ist ebenfalls geerdet, hierzu sind besondere Vorkehrungen zu treffen, um den z.B. auf einem Operationstisch liegenden Menschen/Tiere zu erden. Hier könnten die Leitungen 17' und 18' auch zu einem einzigen Teil zusammengefaßt werden.

Fig. 6a zeigt eine Prinzipskizze des Strompfades bzw.

des Stromflusses bei monopolarer Betrieb der erfindungsgemäßen Pinzette wie in Fig. 5b gezeigt. Hierbei fließt der Strom von dem Hochfrequenzgenerator ausgehend durch die elektrisch gleich gepolten Kontaktbereiche 6 und 7 und durch das von der Pinzette erfaßte bzw. die Kontaktbereiche berührte zu koagulierende Gewebe hindurch, z.B. in den Operationstisch. Dieser geerdete Operationstisch enthält eine entsprechend "Neutralelektrode", welche wiederum andererseits mit dem Hochfrequenzgenerator in Verbindung steht. Der Stromfluß ist in Fig. 6a wiederum durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

Für die kapazitive Kopplung (siehe auch Fign. 4a bis 4c) gilt prinzipiell dasselbe, allerdings erfolgt hier kein Netto-Stromfluß sondern lediglich ein Wärmefluß durch kapazitiven Energieübertrag.

Fig. 7a und 7b zeigen die elektrochemische Reinigung einer mit Gewebearhaftungen versehenen erfindungsgemäßen Pinzette.

Fig. 7a zeigt ein mit Flüssigkeit füllbares Tauchbecken 22, welches zum Steuergerät 12 gehört bzw. mit diesem verbindbar ist. Das Tauchbecken ist im vorliegenden Fall vorzugsweise mit destilliertem Wasser gefüllt, welchem z.B. Schwefelsäure zur Einstellung der elektrischen Leitfähigkeit zugesetzt wurde (es sind weitere Zusätze möglich, siehe oben). Die Spitzen 4 und 5 der Schenkel 2 und 3 sind in die Flüssigkeit des Tauchbeckens 22 eingetaucht. Die Pinzette ist bipolar verschaltet, d.h. daß ein Pol der Pinzette vom Kontaktbereich 6 ausgehend über die Zuleitung 17 zum Steuergerät 12 führt, der andere Pol über den Kontaktbereich 7 und die Zuleitung 18 zum Steuergerät 12 (siehe analog Fig. 5a). Das Steuergerät 12 enthält

eine Spannungsquelle 15, welche wahlweise Gleich- oder Wechselspannung erzeugen kann. Die von dieser Spannungsquelle erzeugbare Spannung liegt bei 0 bis 1000 V, vorzugsweise 0 bis 10 V, besonders vorzugsweise 1 bis 5 V. Es werden Stromdichten an den mit Gewebearrhaftungen versehenen Kontaktbereichen 6 und 7 von bis zu 10 Ampere pro  $\text{cm}^2$  erreicht.

Bei dieser elektrochemischen Reinigung der Kontaktbereiche bzw. der Schenkelspitzen 4 und 5 zeigen sich besonders vorteilhafte Eigenschaften von elektrisch leitfähigem Diamant. Durch den Stromfluß verändert sich der Kontaktbereich aus Diamant nicht, es kommt nicht zu einer möglichen Zersetzung, wie dies bei Metallelektroden der Fall wäre. Aber auch bei der Vorreinigung zeigt der Diamant besonders günstige Eigenschaften, da die mechanische bzw. chemische Vorreinigung aufgrund der geringeren Haftneigung am Diamant sanfter erfolgen kann. Zudem wären die Diamant-Kontaktbereiche auch mit herkömmlichen Verfahren reinigbar und dabei robuster als Metallkontakte.

Bei Anlegen einer Spannung an die Kontakte 17 und 18 kommt es zu einer "Selbstreinigung" der diamantenen Kontaktbereiche. Hierbei hat sich gezeigt, daß beim Anlegen von Gleichstrom der Pluspol bzw. die Anode besonders gut gereinigt wird. Zur ausreichenden Reinigung beider Kontaktbereiche bei der Reinigung im hier gezeigten Bipolarbetrieb ist es also notwendig, nach einer gewissen Zeit eine Umpolung vorzunehmen. Dies kann z.B. auch durch Verwendung einer Wechselspannung erreicht werden.

Fig. 7b zeigt die Reinigung einer erfindungsgemäßen Pinzette im monopolaren Betrieb (die Reinigung ande-

rer chirurgischer Instrumente im Sinne der Erfindung, etwa der Koagulationsinstrumente nach Fign. 4d bis 4g erfolgt entsprechend, es ist zu beachten, daß hier jeweils nur ein Schenkel gegeben ist, welcher gegen die Gegenelektrode 23 gepolt wird). Hierbei ist der Aufbau im Wesentlichen identisch zu dem in Fig. 7a beschriebenen, allerdings sind vorliegend die elektrischen Leitungen 18' und 17' zu einem einzigen Pol zusammengefaßt, welcher zu der Spannungsquelle 15 des Steuergerätes 12 führt. Diese Spannungsquelle ist andererseits mit der weiteren Elektrode 23 verbunden, welche ebenfalls in die Flüssigkeit des Tauchbeckens 22 eingeführt ist (in einer weiteren Ausführungsform ist es möglich, die Wandung des Tauchbeckens selbst als Gegenelektrode 23 auszubilden bzw. die Elektrode in dieser Wandung vorzusehen). Bei der hier gezeigten elektrochemischen Reinigung haben somit die Kontaktbereiche 6 und 7 eine gleichgerichtete Polung (siehe auch Fig. 5b). Hier ist folglich die Reinigung beider Spitzen der Pinzette gleichzeitig möglich. Prinzipiell kann sowohl Gleich- als auch Wechselspannung zur Anwendung kommen. Die Reinigung der monopolaren Instrumente nach 4d bis 4g erfolgt analog, hierbei ist der zwei-schenkelige Einsatz in die Fassung 16 durch die Halterung für die Elektroden nach 4d bis 4g ersetzt.

Neben den in Fig. 7a und 7b beschriebenen Reinigungsarten sind noch weitere für die erfindungsgemäßen chirurgischen Instrumente möglich. Bei den oben beschriebenen Varianten wurde die Spannung direkt an die Kontaktbereiche des chirurgischen Instrumentes angelegt ("aktive" elektrochemische Reinigung). Es ist aber auch eine "passive" chemische Reinigung möglich, bei der zwei Tauchbadelektroden, zwischen denen eine Spannung aufgebaut wird, in ein Flüssigkeitsbad getaucht werden und das chirurgische Instrument zur

Reinigung in dieses Flüssigkeitsbad, vorzugsweise im Bereich zwischen den Tauchbadelektroden, getaucht wird. Es ist hierbei besonders empfehlenswert, wenn mindestens eine der Tauchbadelektroden aus elektrisch leitfähigem Diamant ist bzw. hiermit beschichtet ist.

Die elektrochemische Reinigung kann auch noch durch weitere Maßnahmen beschleunigt bzw. verbessert werden. Eine Beschleunigung des Reinigungsvorganges tritt auf, wenn eine im Tauchbecken vorgesehene Heizvorrichtung die Flüssigkeit im Tauchbecken 22 erwärmt (vorzugsweise bis zu 90°C). Zusätzlich kann das Tauchbecken auch eine Vorrichtung zur Ultraschallerzeugung zur Beaufschlagung der Flüssigkeit mit Ultraschall aufweisen und so eine Beschleunigung des Reinigungsvorgangs erreicht werden. Eine Beschleunigung kann auch durch die Beaufschlagung der Reinigungsflüssigkeit mit Luft-/Gasblasen oder durch Rühren erreicht werden.

Das oben beschriebene Verfahren ist auch zur (Vor)sterilisation geeignet. Für die verschmutzten Bereiche, welche nicht aus dem dotierten Diamantmaterial sind, ist noch eine Zusatzreinigung nötig.

Schließlich zeigt Fig. 8 eine Elektrolyse-Strom-Spannungskurve für eine erfindungsgemäße Pinzette. Diese weist Kontaktbereiche auf, welche aus einem mit Bor dotierten Diamantmaterial bestehen, welches auf einen Kern aus Niob aufgebracht ist. Trotz relativ geringer Stromdichte ergab sich ein guter Reinigungseffekt.

## Patentansprüche

- 5           1.   Instrument für chirurgische Zwecke, insbesondere  
zur Koagulation, welches mindestens einen Schen-  
kel (2, 31) aufweist, wobei der mindestens eine  
Schenkel mit einem Steuergerät (12) elektrisch  
verbindbare elektrische Kontaktbereiche zur Ein-  
10           wirkung auf in der Nähe befindliches Gewebe (13)  
durch elektrische Beaufschlagung des Kontaktbe-  
reiches aufweist,  
          d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
          daß der Kontaktbereich aus zur Herstellung der  
15           elektrischen Leitfähigkeit dotiertem Diamant be-  
steht.
2.   Instrument nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich-  
net, daß der Bandabstand des Kontaktbereichs  
zwischen 5,2 eV und 5,6 eV, vorzugsweise zw-  
20           ischen 5,3 eV und 5,5 eV, liegt, besonders vor-  
zugsweise 5,45 eV beträgt.
3.   Instrument nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß es zwei zueinander bewegbare  
Schenkel (2, 3) aufweist, z.B. in Form einer  
25           Pinzette (1), wobei die Spitze (4, 5) mindestens  
eines Schenkels den elektrischen Kontaktbereich  
aus dotiertem Diamant zum Berühren und Erfassen  
des Gewebes (13) zum Zwecke der Koagulation auf-  
weist.
- 30           4.   Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprü-  
che, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die  
Spitzen der Schenkel (4, 5) einen Kern (10) auf-  
weisen, auf welchen der die Kontaktbereiche bil-  
dende dotierte Diamant aufgebracht ist.

5. Instrument nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Material des Kerns elektrisch leitfähig ist, insbesondere daß der Kern aus einem refraktären Metall ist, bevorzugt Titan, Wolfram, Niob, Tantal, Iridium oder Legierungen dieser Metalle, oder daß der Kern Zr, Graphit oder kohlefaserverstärkter Kohlenstoff ist.
6. Instrument nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kontaktbereich aus dotiertem Diamant mittels Diamant-CVD auf dem Kern aufgebracht ist.
7. Instrument nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kontaktbereich aus dotiertem Diamant mittels Hot-Filament-CVD, Mikrowellen-CVD oder electron-cyclotron-resonance-unterstützter Mikrowellen-CVD aufgebracht ist.
8. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierstoffkonzentration des Kontaktbereiches (6) höher als  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  ist.
9. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierstoffkonzentration des Kontaktbereiches (6)  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  beträgt.
10. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der spezifische Widerstand des dotierten Diamant der Kontaktbereiche (6) kleiner als 100 Ohm cm, bevorzugt kleiner als 1 Ohm cm, besonders bevorzugt kleiner als 0,01 Ohm cm ist.
11. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotierstoff

des dotierten Diamant der Kontaktbereiche Bor, Schwefel, Stickstoff, Lithium, Phosphor oder Titan ist.

- 5 12. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke des Kontaktbereiches (6) weniger als 300 Mikrometer, bevorzugt weniger als 10 Mikrometer, besonders bevorzugt 1 bis 5 Mikrometer beträgt.
- 10 13. Instrument nach einem der Ansprüche 4 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Kern (10) und Kontaktbereich (6) eine chemische Bindung besteht.
- 15 14. Instrument nach einem der Ansprüche 4 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß auf den Kern bereichsweise ein Isoliermaterial (11) aufgebracht ist.
- 20 15. Instrument nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Isoliermaterial auf dotiertem Diamant aufgebracht ist, wobei die Kontaktbereiche ausgelassen sind.
- 25 16. Instrument nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Isoliermaterial den dotierten Diamant vollständig bedeckt.
17. Instrument nach einem der Ansprüche 14 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Isoliermaterial (11) aus einer im CVD-Verfahren aufgetragenen nominell undotierten Diamantschicht aus texturiertem Diamant, nanokristallinem Diamant oder aus DLC (Diamond like Carbon) besteht.
- 30 18. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte

Diamant aus in einem CVD-Verfahren aufgebrachtem texturiertem Diamant, nanokristallinem Diamant oder DLC besteht.

- 5 19. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (12) mit einer Gleich- oder Wechselspannungsquelle, bevorzugt mit einem Hochfrequenz-Generator (14) zur Erzeugung unmodulierter und modulierter Hochfrequenzströme durch die Kontaktbereiche hindurch ausgestattet ist.
- 10 20. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Instrument mit einem mit Flüssigkeit füllbaren Tauchbecken (22) zum Eintauchen der Kontaktbereiche (6, 7) in die Flüssigkeit und einer Spannungsquelle (15) zum Anlegen einer Gleich- oder Wechselspannung an die in die Flüssigkeit eingetauchten Kontaktbereiche verbindbar ist.
- 15 21. Instrument nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Spannungsquelle (15) erzeugten Spannungen 0 bis 1000 V, vorzugsweise 0 bis 10 V, besonders vorzugsweise 1 bis 5 V betragen.
- 20 22. Instrument nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Tauchbecken eine Heizvorrichtung zur Erwärmung der Flüssigkeit aufweist.
- 25 23. Instrument nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Tauchbecken (22) einen Ultraschallerzeuger zur Beaufschlagung der Flüssigkeit mit Ultraschall aufweist.
- 30

24. Instrument nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit zur Reinigung destilliertes Wasser enthält.
- 5 25. Instrument nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit destilliertes Wasser mit Zusätzen zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit wie Schwefelsäure oder dergleichen ist.
- 10 26. Instrument nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit destilliertes Wasser mit Reinigungsmitteln aufweist.
- 15 27. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Kontaktbereiche gegeben sind und die beiden Kontaktbereiche (6, 7) eine entgegengesetzte (Fig. 5a, Fig. 7a) oder eine gleichgerichtete (Fig. 5b, Fig. 7b) Polung aufweisen.
- 20 28. Instrument nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Polung der Kontaktbereiche im Koagulationsbetrieb und im Reinigungsbetrieb unterschiedlich ist.
- 25 29. Verfahren zur Reinigung der Kontaktbereiche des Instruments nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß diese zur elektrochemischen Reinigung in elektrisch leitende Flüssigkeit getaucht und mit einer Gleich- oder Wechselspannung zur Erzielung eines Stromflusses durch die Kontaktbereiche beaufschlagt werden.

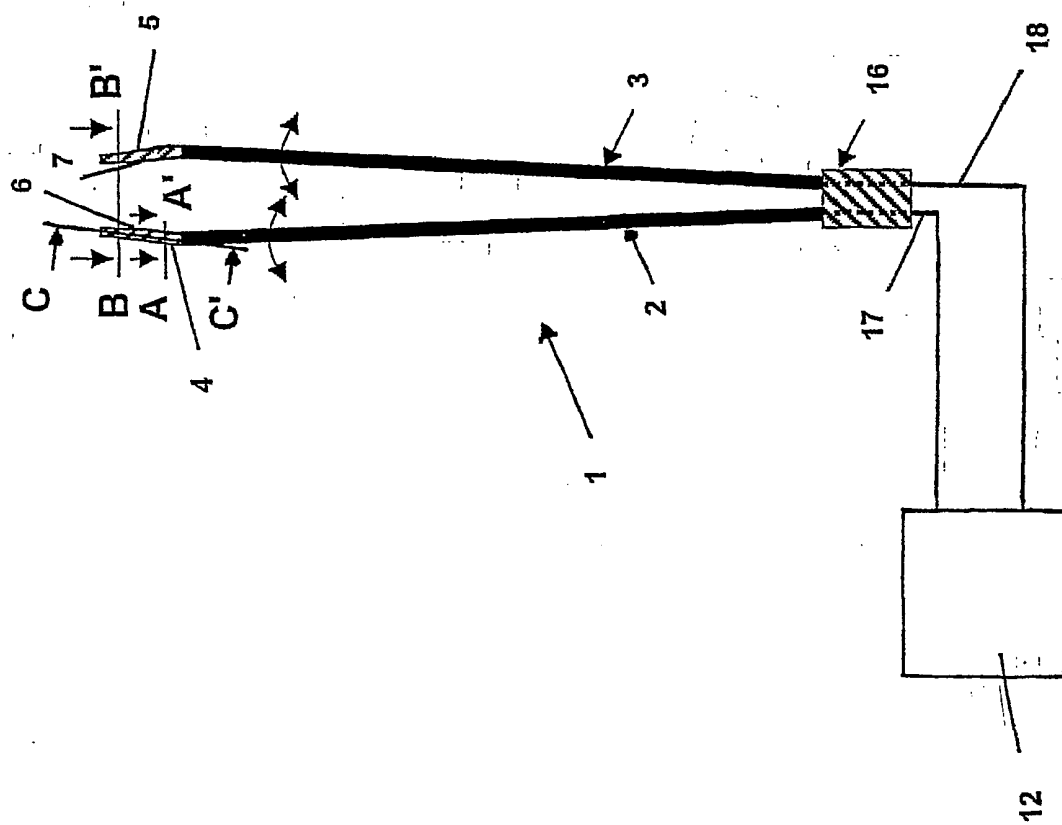


Fig. 1

Fig. 2a (A-A')

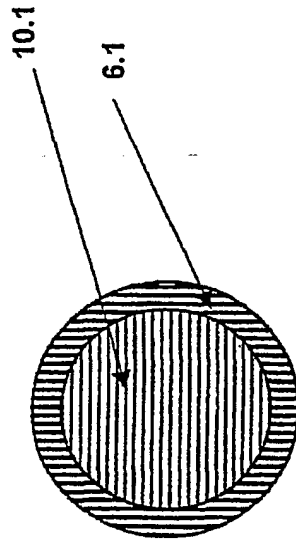


Fig. 2c (A-A')

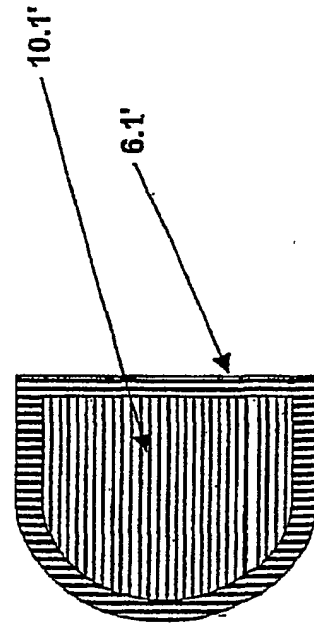


Fig. 2b (c-c')

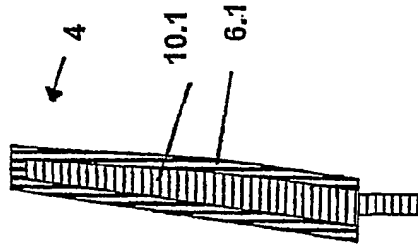


Fig. 3a (A-A')

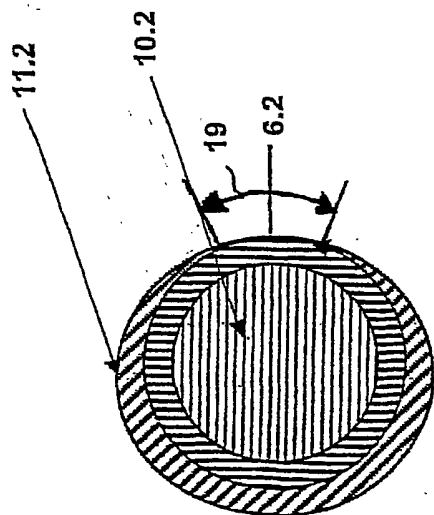


Fig. 3b (A-A')

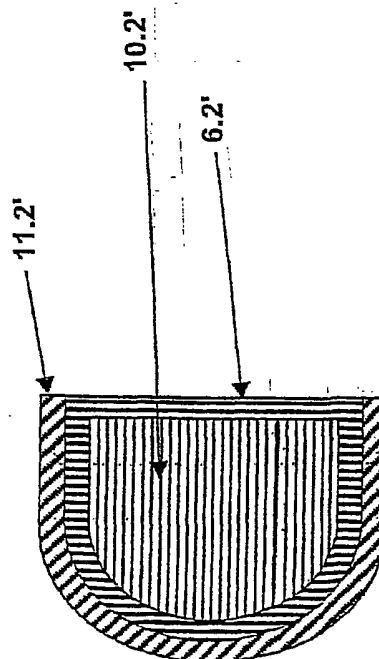


Fig. 3d (C-C')

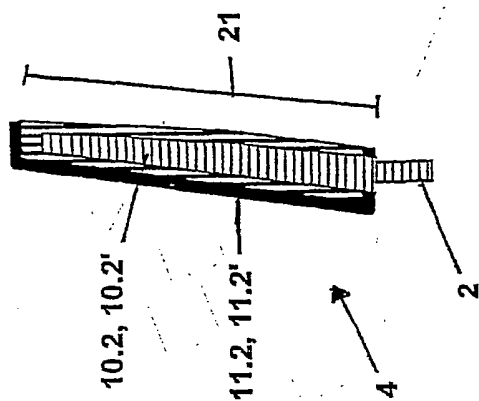
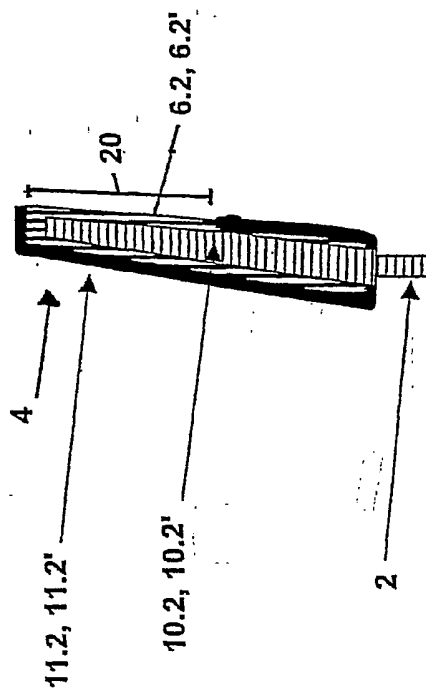


Fig. 3c (C-C')



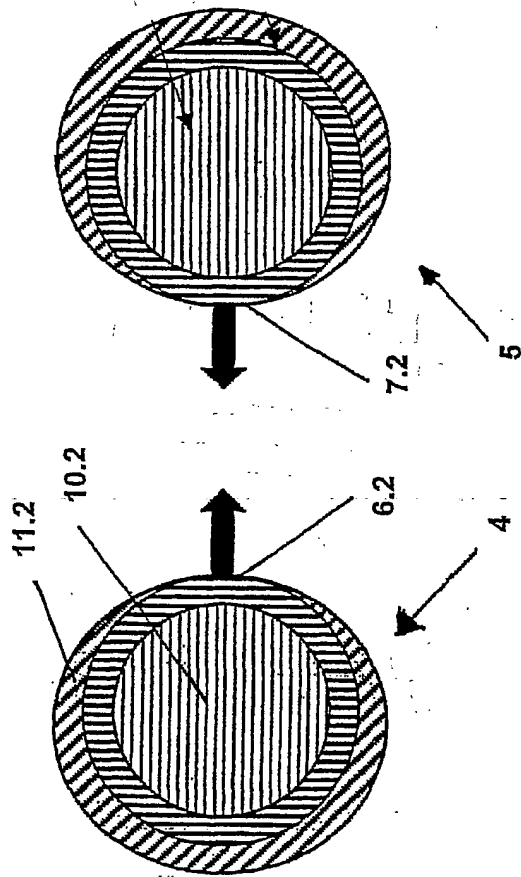


Fig. 3e

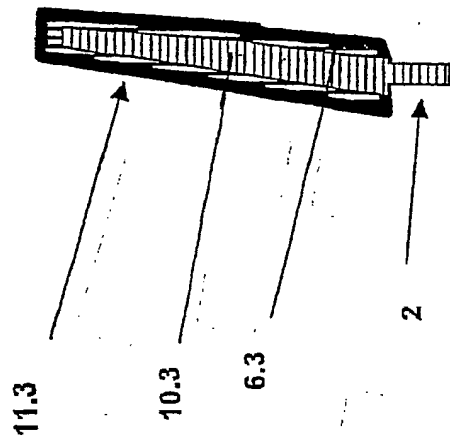


Fig. 4b (C-C')

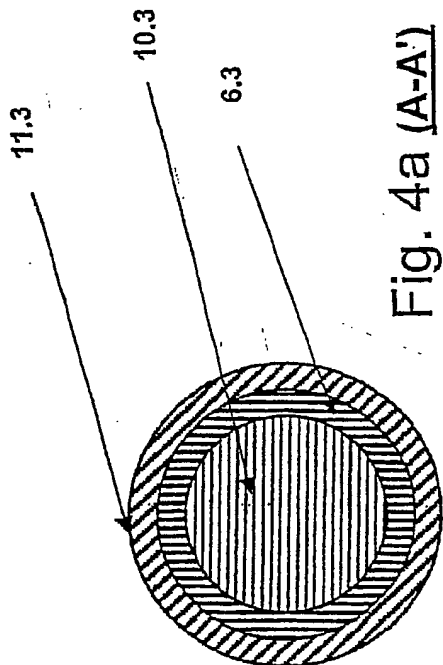


Fig. 4a (A-A')

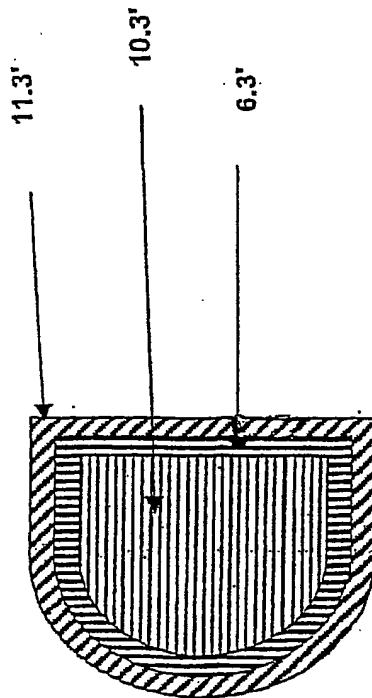
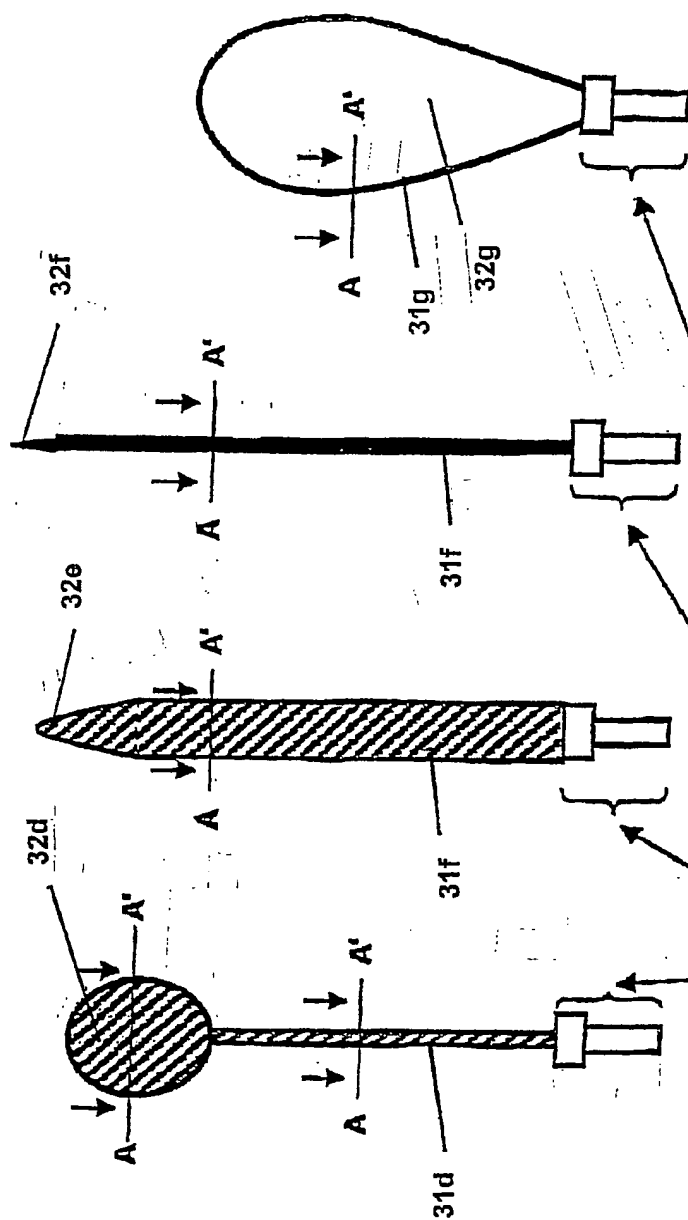


Fig. 4c (A-A')

Fig. 4d Fig. 4e Fig. 4f Fig. 4g



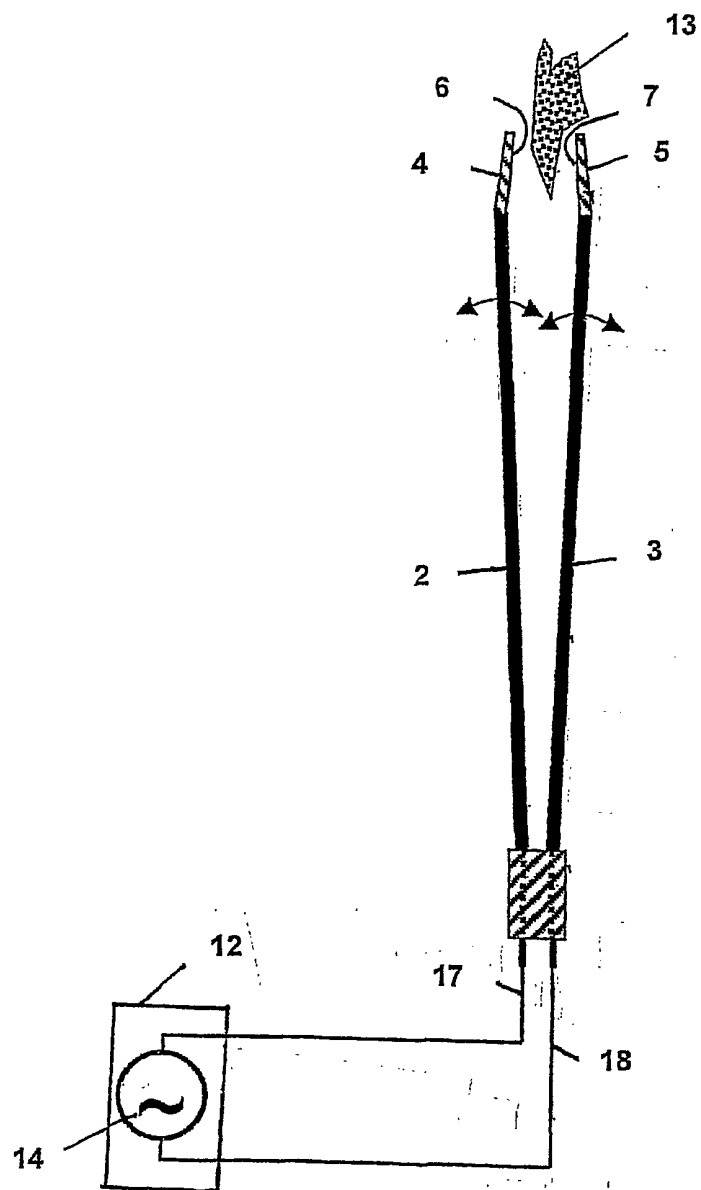


Fig. 5a

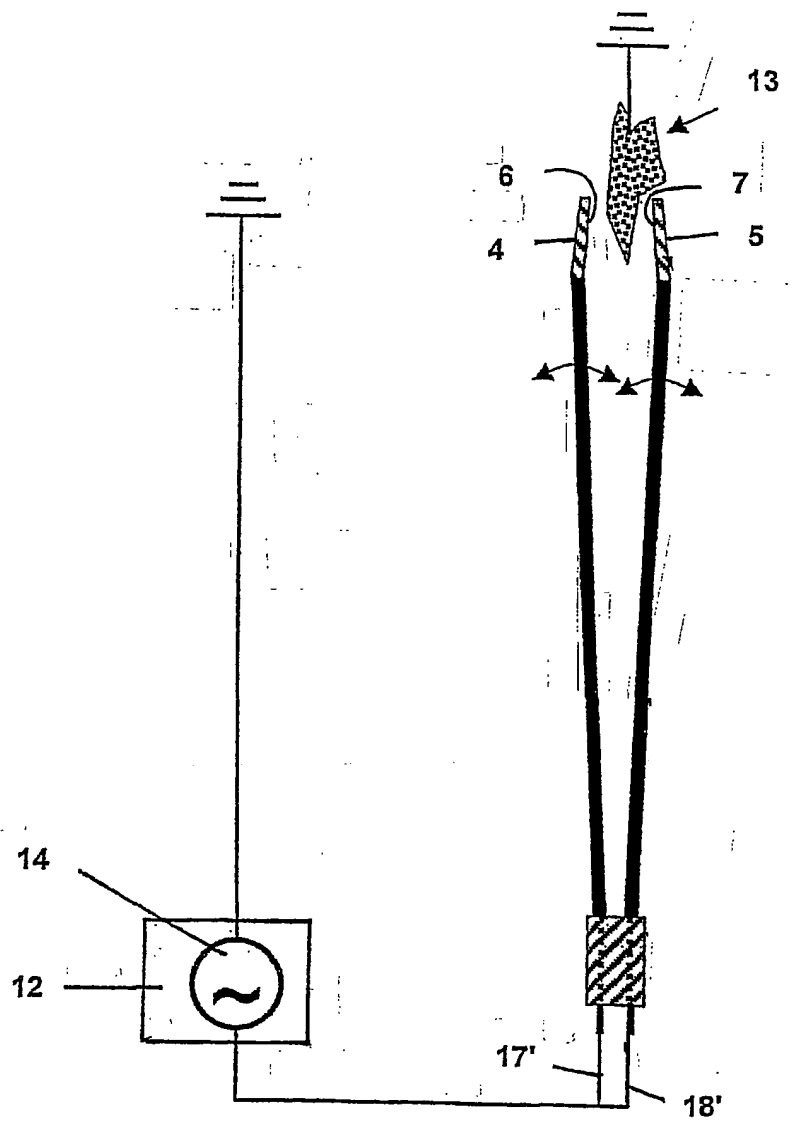


Fig. 5b

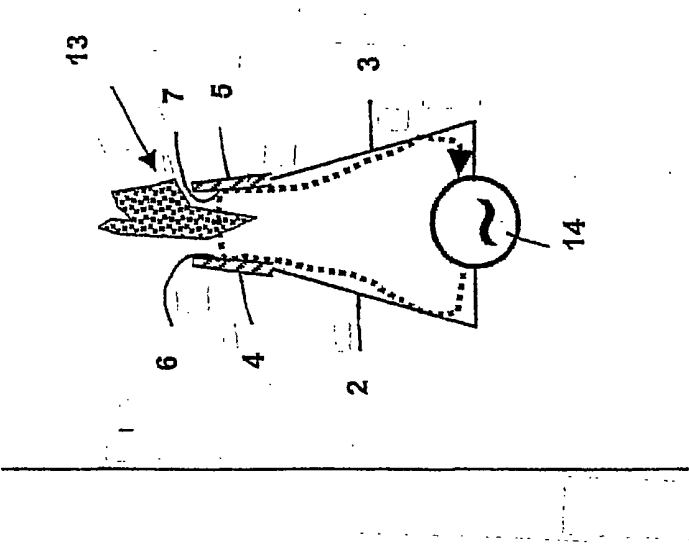


Fig. 6b

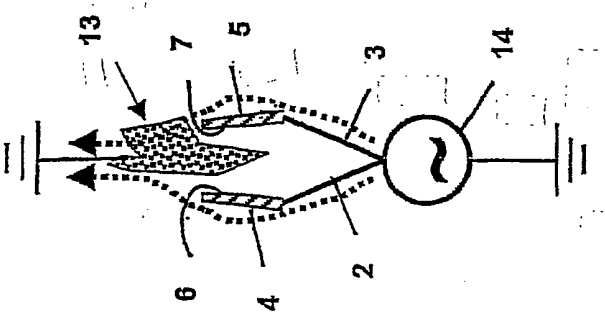


Fig. 6a

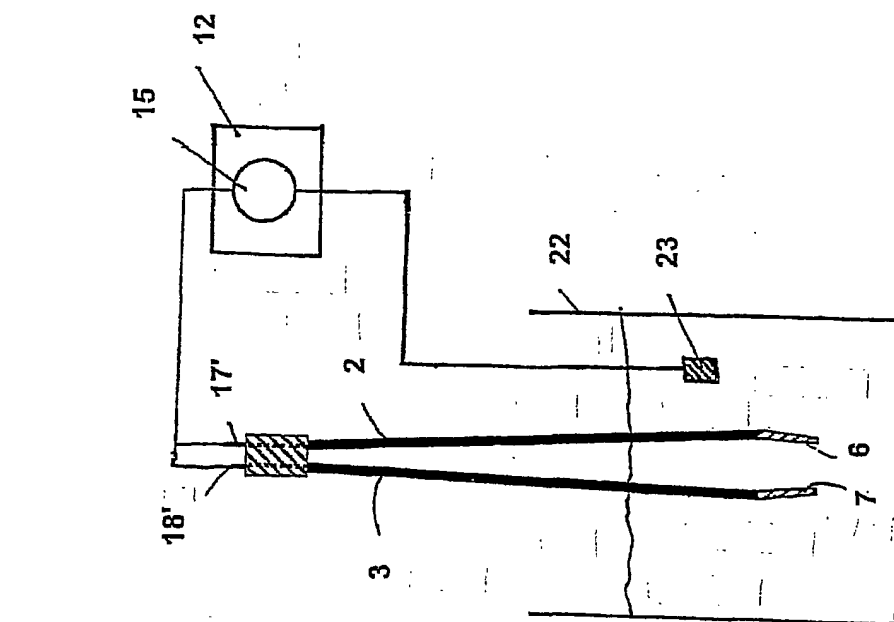


Fig. 7a

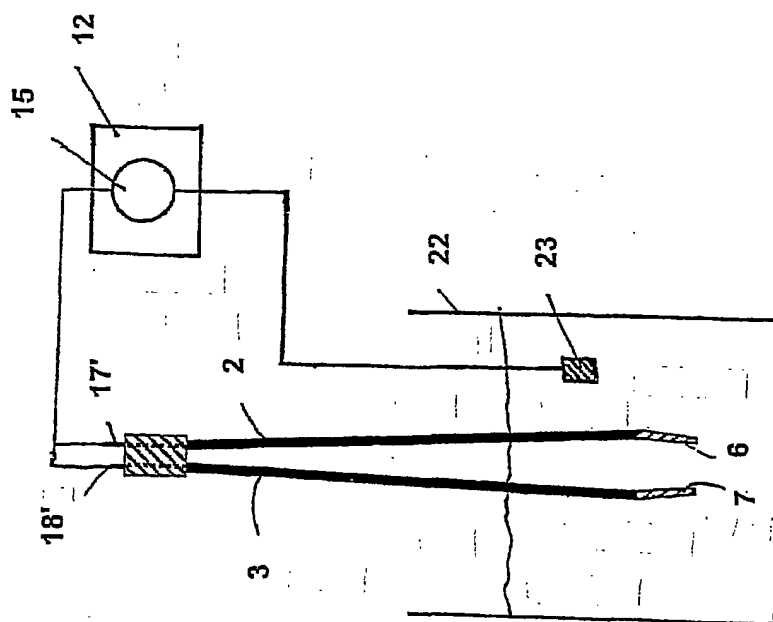


Fig. 7b

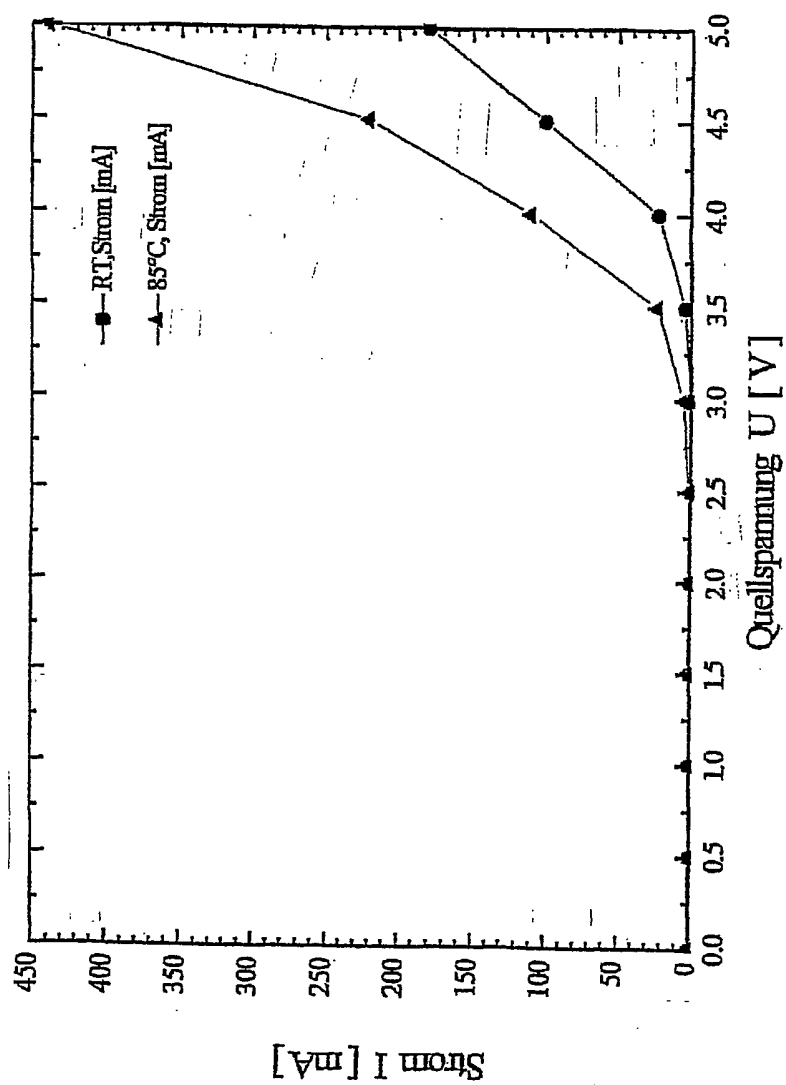


Fig. 8